

REOXIDACE KOVU PŘI ODLÉVÁNÍ DO SYROVÝCH PÍSKOVÝCH FOREM

T. ELBEL¹, R. VLADÍK², R. KOUKAL³, L. KOCIÁN⁴

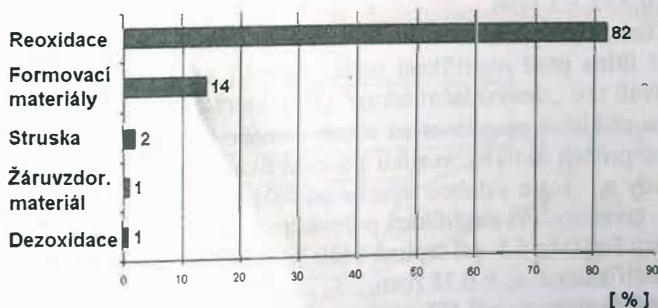
ABSTRACT : Metal reoxidation causes a number of iron castings defects, particularly when pouring them in green-sand moulds. During the flowing in the gating system and in the mould cavity the liquid metal gets into contact with oxygen from air and water vapour. Secondary oxidation of elements takes place in sequence of their affinity to oxygen. Therefore the authors were aimed at cast irons. Besides indirect methods the reoxidation was researched mainly by direct measurement of oxygen activity during filling of a mould up to solidus temperature. Continuous monitoring of oxygen activity changes in a foundry mould is an original solution since other authors have done their measurements only in a furnace with disposable sensors. Obtained results have confirmed that oxygen activity measurement can serve to the casting quality control. But it is little sensitive for explanation of processes running in a cavity during metal casting.

KLÍČOVÁ SLOVA: Reoxidace kovu, měření aktivity kyslíku, litinové odlitky.

KEY WORDS: Metal reoxidation, oxygen activity measurements, iron castings.

1 ÚVOD

Reoxidace je průvodním jevem při odlévání kovů a slitin, kdy se především na povrchu proudícího kovu vytváří tenké vrstvičky oxidů základního kovu nebo jeho slitinových a doprovodných prvků, v pořadí podle jejich afinity ke kyslíku. Velký význam pro reoxidační procesy má vznik povrchových filmů a oxidických kůží v proudícím kovu a difúzní procesy. Objasnění těchto jevů vynikajícím způsobem rozebral Cambell [1] a to pro slitiny hliníku, ale i železa. Podle něj se např. na povrchu litiny vytváří tenká vrstva strusky, která má tloušťku 0,1 mm a více. Během plnění formy se vlivem reoxidace může tato vrstvička obohacovat o MnO, které snižuje bod tání. Při klesající teplotě kovu zůstává tato vrstvička tekutá. Autoři příspěvku směřovali svůj výzkum právě na slitiny železa, protože u nich z důvodu reoxidace vzniká nejvíce vad a poruch. Dokládá to studie AFS [2], založená na průzkumu ve 300 reovárnách ocelí, podle které 83 % makrovměstků vzniká z důvodu reoxidace. Tuto skutečnost zachycuje obr. 1.



Obr. 1 Rozdělení zdrojů makroskopických vměstků u uhlíkových a nízkoalloyovaných ocelí [2].

¹ Prof. Ing. Tomáš Elbel – Katedra slévárenství, FMFI, VŠB-TU Ostrava

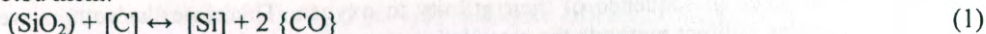
² Ing. Radovan Vladík – Katedra slévárenství, FMFI, VŠB-TU Ostrava

³ Ing. Rostislav Koukal – Katedra slévárenství, FMFI, VŠB-TU Ostrava

⁴ Ing. Leoš Kocián – Katedra slévárenství, FMFI, VŠB-TU Ostrava

Kyslík může být přítomen ve slitinách železa ve dvou formách : buď jako rozpuštěný prvek nebo vázaný jako oxid. Kromě vzniku různých vad u ocelových nebo litinových odlitků ovlivňuje kyslík v roztoku i morfologii grafitu v litin. Přímé zjištění obsahu kyslíku rozpuštěného v kovu není možné avšak pomocí speciálních sond lze stanovit aktivitu kyslíku [3,4]. V tavenině jsou přítomny oxidy, které přímo souvisí s heterogenními nukleačními centry a s reoxidací kovu při proudění taveniny během odlévání do slévárenské formy [3,5]. V mikroobjemech částic grafitu se vytváří oxidické šumy, které můžeme identifikovat pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu [6]. Oxidické vměstky se mohou vyskytovat i v makroskopickém měřítku a tak ovlivňují povrchovou i vnitřní jakost litých polotovárů [6].

Aktivita kyslíku je silně závislá na teplotě a s klesající teplotou klesá. Příčinu této skutečnosti lze hledat v pravděpodobně nejdůležitější chemické reakci v metalurgii litin (1), jejíž rovnováha se s teplotou mění.



Při vyšší teplotě se posunuje doleva, křemík a kyslík se slučují méně a tím více volného kyslíku vzniká v tavenině litiny.

2 SOUČASNÝ STAV MĚŘENÍ AKTIVITY KYSLÍKU

Měření aktivity kyslíku bylo původně vyvinuto pro řízení jakosti oceli, kde se stalo běžnou kontrolní metodou v ocelárnách. Ve slévárenství se výzkum zaměřil na využití této metody u litinových odlitků a zejména pro jakostní druhy s červíkovitým (kompaktním) a kuličkovým grafitem. Při našich předchozích experimentech [7] jsme například zaznamenali při měření aktivity kyslíku ve formě významné rozdíly mezi hodnotami aktivit kyslíku 3 druhů litin, při teplotách 1350 °C pro :

LLG $a_{\text{O}} = 0,97 \text{ ppm}$,

LVG $a_{\text{O}} = 0,30 \text{ ppm}$ a

LKG $a_{\text{O}} = 0,16 \text{ ppm}$.

Při teplotě likvidu se už naměřené hodnoty překrývaly a pohybují se v setinách ppm. Tyto hodnoty jsou blízké s pracemi jiných autorů, kteří používali rozdílné senzory, materiály odlitků, přístrojovou techniku aj.

Hummer a spolupracovníci [3,8] uváděli výsledky měření aktivity kyslíku jako elektromotorickou sílu (EMS), která vyjadřuje rozdíl mezi kyslíkovým potenciálem a srovnávací elektrodou, zatímco aktivita se počítá z EMS a teploty tekutého kovu. Z výsledků těchto autorů lze vybrat naměřené hodnoty aktivity kyslíku pro :

LLG $a_{\text{O}} = 1,1 \text{ až } 4 \text{ ppm}$,

LVG $a_{\text{O}} = 0,9 \text{ až } 1,2 \text{ ppm}$,

LKG $a_{\text{O}} = \text{kolem } 0,2 \text{ ppm}$,

přičemž základní litina před modifikací měla $a_{\text{O}} > 0,2 \text{ až } 3 \text{ ppm}$. Hecht a Loury [9] kromě aktivity kyslíku používali tzv. „dezoxidační faktor“ (DF), který se určí výpočtem z naměřené hodnoty EMS a teploty a dá se přibližně považovat za obsah volného hořčíku : $\text{DF} = \% \text{Mg} \cdot 10^3$. Zde jako příklad můžeme uvést průběh aktivity kyslíku po modifikaci v peci NiMg s 16 % Mg, při výdrži na teplotě 1450 °C, kdy a_{O} roste s dobou výdrže od 0,01 ppm až na 1,2- 1,3 ppm. Růst přisuzují reoxidačnímu účinku taveniny. Při modifikaci polévacím způsobem (sandwich) bylo $a_{\text{O}} < 0,5 \text{ ppm}$. Při použití modifikátoru FeSiMg 6,5 při teplotě 1450 °C naměřili:

pro 0,8 % modifikátoru $a_{\text{O}} = 0,18 \text{ ppm}$,

pro 1,2 % modifikátoru $a_{\text{O}} = 0,125 \text{ ppm}$ a

pro 1,6 % modifikátoru $a_{\text{O}} = 0,08 \text{ ppm}$.

Mampaey a Beghym [5] měřili aktivitu kyslíku v indukční peci při různém chemickém složení litiny. Měření byla prováděna v závislosti na teplotě a po přidání Mg, S, Ti, Zr a Al. Naměřené hodnoty aktivit kyslíku v rozmezí teplot 1350 až 1420 °C se pohybovaly od desetin ppm do 1,5 ppm. Například v základní litině pro zpracování litiny s červíkovitým (kompaktním) grafitem byla aktivita kyslíku od 0,73 do 1,37 ppm v závislosti na obsahu Mg.

Lekaly a kol. [10] se zaměřili na zkoumání chemických reakcí přísad obsažených v očkovaadlech při očkování litiny s kuličkovým grafitem. K posouzení charakteristik rafinačních reakcí bylo použito měření aktivity kyslíku a_O . V závislosti na obsahu přidaného Mg (od 0 do 0,15 %) a pro různé obsahy S se a_O pohybovala od 4 do 0,005 ppm. V podobném rozsahu se pohybovala a_O při přidávání Ca v rozmezí 0 až 0,2 %.

Mampaey [11] při studiu vlastností hliníkových litin použil mimo jiné měření aktivity kyslíku. Hliníkovou litinou se v této práci myslí slitina, ve které je křemík zcela nebo částečně nahrazen hliníkem. U LKG nebo u hliníkové litiny byl při teplotě 1420 °C zjištěn pokles aktivity kyslíku od 0,9 do 0,05 ppm až do zhruba 0,035 % Mg a další přídavek Mg nesnižuje významně tuto hodnotu.

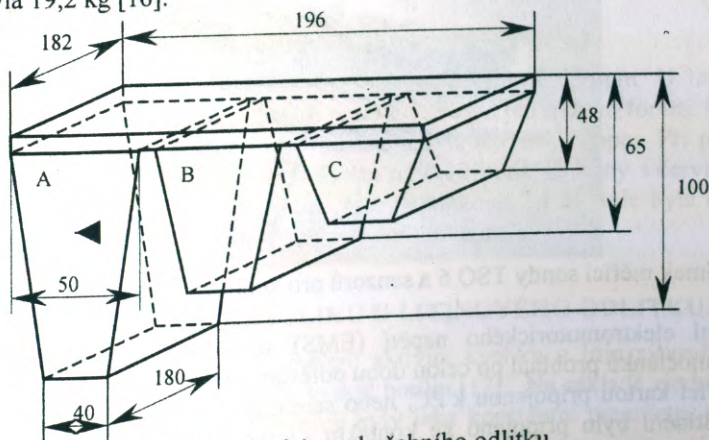
Hummer [2,7], Hecht [8] a zcela nedávno Mampaey a kol. [12] sledovali aktivitu kyslíku v peci před odléváním a konstatovali, že naměřené hodnoty lze využít k predikci morfologie grafitu v litině a nebo i její metalurgické jakosti. Mampaey v této i předchozích prací přitom zdůrazňoval, že srovnávání aktivity kyslíku je smysluplné pouze tehdy, je-li provedeno při stejné teplotě. Tentokrát byl zjišťován vliv na mechanické vlastnosti (R_m , HB, A) a strukturu LKG (nodularita, obsah feritu v matici). Při výrobě LKG lze dosáhnout optimálních mechanických vlastností pokud při teplotě 1420 °C se bude a_O pohybovat v rozmezí 0,09 až 0,1 ppm.

Také na Technické univerzitě v Liberci bylo před 10 lety zkoumáno využití měření aktivity kyslíku u litin. Měření Konečného [13] při výrobě LKG s použitím indukční pece a modifikace čistým Mg v konvertoru +GF+ zaznamenala např. pokles aktivity kyslíku po natavení a udržování v peci z 1,5 ppm na 0,4 ppm po modifikaci a s dobou setrvání kovu v peci a_O klesla na 0,06 ppm. Na stejném pracovišti Nová a kol. [14] sledovali změny aktivity kyslíku u odlitků z LKG. Naměřené hodnoty vztažené na teplotu 1400 °C po modifikaci dosahovaly $a_O = 0,25$ ppm.

Výsledky měření aktivit kyslíku Hummera, Hechta a Mampaye byly získány s použitím komerčních slévárenských senzorů a zařízení firmy Heraeus Electro-Nite a měření byla prováděna v peci, bez vlivu atmosféry slévárenské formy. Největší náchylnost k reoxidaci má přitom syrová písková forma. Potvrzuje to již zmíněný Campbell [15], který předpokládá, že většina sekundární oxidace je důsledkem reakcí kovu s vodní parou z formy a nikoliv ze vzduchu, který je vytlačen z formy již v prvních fázích lití a že přísada uhlíkatých látek do formovací směsi pomáhá eliminovat tento problém. Dalším nepřímým důkazem je vysoký podíl vad odlitků způsobených vměstkou a plyny při odlévání na syrovo.

3 POPIS EXPERIMENTU

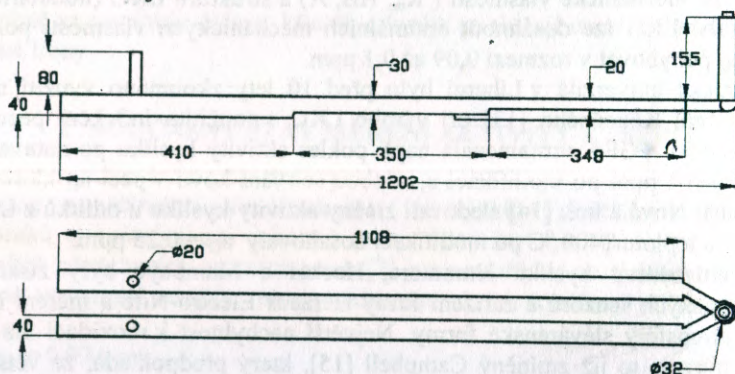
Experimenty k studiu reoxidace kovu ve slévárenské formě byly založeny na kontinuálním měření aktivity kyslíku v průběhu plnění formy a tuhnutí kovu. Byl využit srovnávací experiment, kdy za jinak stejných podmínek (stejně složení odlévaného kovu, stejná teplota měření a_O) se měnil druh formovací směsi a způsob plnění formy. Tvar zkušebního odlitku byl stupňovitý podle obr. 2 a jeho hmotnost byla 19,2 kg [16].



Obr. 2 Schéma zkušebního odlitku

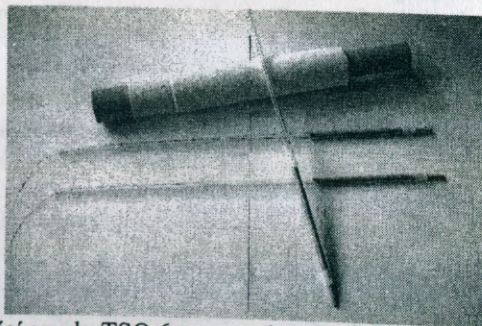
Na zadní části odlitku byl náletek o průměru 100 mm a hmotnosti 4,2 kg, do kterého se vkládaly měřicí sondy. Odlitek byl zvolen tak, aby během odlévání docházelo k změnám směru proudění a přelévání kovu. U tohoto odlitku probíhala měření při odlévání oceli i litiny.

Pro litinové odlitky se jako vhodnější jeví odlitek stupňovitě tyče s velkou délkou, jehož schéma je na obr. 3. Do formy byly odlévány jedním vtokem dva odlitky umístěné tak, že u jedné z tyčí byl zářez umístěn do tenčí stěny a u druhé do tlustší stěny. Pro účely přípravy LKG a LVG byla do vtokové soustavy zařazena komůrka pro modifikaci ve formě (in-mould). Hmotnost obou odlitků s vtokovou soustavou byla 21 kg. Na konci obou tyčí byly umístěny výfuky. Forma byla zhotovena ze syrové bentonitové směsi. Pojivem byl natrifikovaný bentonit. Směs neobsahovala uhlíkatou přísadu, pro zvýšení plasticity byl do ní přidán dextrin v množství 0,75 h.d. Ztráta žíháním směsi byla 1,75 %. Použitý křemenný písek má $d_{50} = 0,27$ mm. Směsi se lišily obsahem vody. Kov pro zkušební odlitky se taval na elektrické středofrekvenční peci o objemu 100 kg. Odlévání se provádělo z ruční pánve. Očkování (FeSi 75) probíhalo v odlévací pánvi. K modifikaci in-mould se při přípravě LVG a LKG použil modifikátor Bjomet 3.



Obr.3 Schéma soupravy experimentálních odlitků

Měření aktivity kyslíku v odlitcích bylo prováděno sondami TSO 6 firmy Termosondy Kladno s.r.o a sensory odvozenými z těchto sond. Sonda je složena z měřicího článku utěsněného žárovzdornou hmotou v křemenné trubičce. Měřicí článek je tvořen tuhým elektrolytem ZrO_2 stabilizovaným CaO s referenční směsí $Cr_2O_3 + Cr$. Kontakt s lázní a vedení z referenční směsi bylo z molybdenového drátu. Teplota byla měřena termočlánek Pt-PtRh10, průměru 0,3 mm, umístěnými v korundové kapiláře o průměru 3 mm. Měřicí konec termočláneku byl umístěn v korundové ochraně o vnějším průměru 6 mm. Na obr. 4 je fotografie senzorů pro kontinuální měření v porovnání s komerční sondou TSO 6.



Obr. 4 Snímek měřicí sondy TSO 6 a senzorů pro kontinuální měření aktivity kyslíku

Záznam měření elektromotorického napětí (EMS) senzorů pro stanovení aktivity kyslíku a záznam EMS termočláneků probíhal po celou dobu odlévání až do úplného ztuhnutí odlitku. Záznam byl pořizován měřicí kartou připojenou k PC, nebo samostatnou měřicí ústřednou zcela oddělenou od napájecí sítě. Stínění bylo připojeno ke kontaktu s kovovou lázní a bylo tvořeno Mo drátem

průměru 1 mm v keramické ochraně. Z ochrany vyčnívá vždy jen jeho velmi krátká část. Vedení Mo kontaktu bylo připojeno na „+“ pól měřicí karty, nebo ústředny, a vedení sondy na „-“ pól. Zjištěné aktivity kyslíku v kovu byly počítány podle rovnice (2) ČSAV Ostrava, [ppm]:

$$\log a_O = 8,516 - (13272 - 10,08 \cdot E) / (T + 273) \quad (2)$$

kde: a_O - aktivita kyslíku [ppm]
 T - teplota taveniny [$^{\circ}\text{C}$]
 E - elektromotorické napětí sondy [mV]

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ AKTIVIT KYSLÍKU U OCELOVÝCH ODLITKŮ

Pro zavedení a odzkoušení metodiky měření aktivity bylo zvoleno měření v oceli, kvůli vysokým obsahům kyslíku v porovnání s litinou, konkrétně byla použita uhlíková ocel ČSN 42 26 60. Měření bylo provedeno v pánvi i v odlitku. Odpichová teplota oceli se pohybovala v rozmezí 1620 až 1670 $^{\circ}\text{C}$. U experimentů jsme narazili na problém s životností senzorů a korundových ochranných termočlánků. Po neúspěšných pokusech měření v oceli jsme s těmito sondami pokračovali v měření aktivity kyslíku v materiálu s nižšími licími teplotami, tzn. v litinových odlitcích. U ocelových odlitků se podařilo realizovat měření aktivit pouze s ponornými kombinovanými sondami pro měření v pánvích a pecích [7]. Naměřené hodnoty se pohybovaly např. od 34,6 ppm v peci po 4,6 až 5,2 ppm při měření v nálitku. U ocelových odlitků se pro studium reoxidace osvědčila nepřímá metoda sledování změn chemického složení kovu mezi analýzou kovu z pánve a po průchodu formou [7].

5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ AKTIVIT KYSLÍKU U LITINOVÉHO ODLITKU PODLE OBR. 2

Bylo provedeno ověření vlivu vlhkosti na změnu aktivity kyslíku v kovu během plnění formy a tuhnutí odlitku, které se uskutečnilo u litiny s lupínkovým grafitem – LLG, litiny s červíkovitým grafitem – LVG, litiny s kuličkovým grafitem – LKG. Kov byl odléván do syrových bentonitových forem s nízkou, střední a vysokou vlhkostí. Odpichová teplota litiny se pohybovala v rozmezí 1460 až 1480 $^{\circ}\text{C}$. Litina pro odlitek s lupínkovým grafitem byla očkovaná najednou v pánvi FeSi75, litina pro odlitky s kuličkovým a červíkovitým grafitem byla očkovaná a modifikována najednou v pánvi FeSi75 a Bjometem 3. Při měřeních byl proveden srovnávací experiment a kov stejného chemického složení o stejné teplotě byl nalit z jedné pánve do tří forem s měnící se vlhkostí formovací směsi.

Při tomto měření byly zjištěny rozdíly v aktivitě kyslíku při teplotě 1300 $^{\circ}\text{C}$. Se stoupající vlhkostí zde můžeme sledovat rostoucí hodnoty aktivity kyslíku:

Vlhkost 2,4 %;	$a_O = 0,30$ ppm
Vlhkost 3,5 %;	$a_O = 0,35$ ppm
Vlhkost 4,9 %;	$a_O = 0,50$ ppm.

Při teplotě tuhnutí se aktivity kyslíku vyrovnávají a činí jen 0,05 ppm. U litiny s kuličkovým grafitem se podařilo měření aktivity kyslíku při teplotě 1290 $^{\circ}\text{C}$ jen u dvou forem. Při vlhkosti 2,1 % byla naměřena hodnota $a_O = 0,38$ ppm a při vlhkosti 3,6 % $a_O = 0,31$ ppm. Při poklesu teploty na teplotu tuhnutí klesla aktivita kyslíku u obou forem na 0,12 ppm. U litiny s červíkovitým grafitem bylo úspěšné měření při teplotě 1300 $^{\circ}\text{C}$ jen u formy s vlhkostí 2,1 %, kde byla naměřena aktivita kyslíku $a_O = 0,11$ ppm a při teplotě tuhnutí poklesla na 0,07 ppm.

6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ AKTIVIT KYSLÍKU U LITINOVÉHO ODLITKU PODLE OBR. 3

Další experimenty byly zaměřeny na měření aktivity kyslíku u litin s červíkovitým grafitem LVG, kde na zkušebních odlitcích byl zjištěn výskyt bodlin [17]. Na základě zjednodušeného plánu experimentu bylo připraveno 5 taveb, ve kterých byly jako konstantní parametry zvoleny: skladba

kovové vsázky do indukční pece, základní chemické složení kovu, základní složení formovací směsi, množství modifikátoru a teplota lití. Dominantními faktory byly obsah Al v litině (3 úrovně od 0,02 do 0,050 %), vlhkost formovací směsi (3 úrovně od 2 do 5,2 %) a stupeň průtočnosti kovu v dutině formy (2 způsoby zaústění zářezů do dutiny formy $\varepsilon = 0,3$ a $0,6$). Jako závislé proměnné byly aktivita kyslíku a výskyt bodlin na odlitcích. Senzory pro kontinuální měření aktivity kyslíku byly vloženy do dutiny formy s rozdílnou vlhkostí. Tavení kovu probíhalo na 100 kg peci přetavbou zjednotné vsázky vratného materiálu. Očkování bylo provedeno v pánvi a modifikace Bjomet 3 v reakční komůrce ve formě. EMS [mV] byla snímána v závislosti na teplotě a vypočtené hodnoty aktivit kyslíku se vztahovaly k nejvyšší společné zaznamenané teplotě a tou byla 1200 ± 1 °C. Chemické složení zkoumaných taveb přináší tab. I.

Tab.I Chemické složení experimentálních taveb

Prvek	Chemické složení taveb [%]				
	Číslo tavby (odlitku)				
	61	62	63	64	65
C	3.45	3.49	3.51	3.47	3.60
Mn	0.38	0.39	0.18	0.18	0.18
Si	2.91	2.62	2.78	2.75	2.61
P	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
S	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007
Cr	0.029	0.027	0.027	0.029	0.032
Cu	0.146	0.147	0.148	0.150	0.152
Al	0.012	0.015	0.050	0.251	0.190
Mg	0.031	0.0235	0.0255	0,023	0.0230

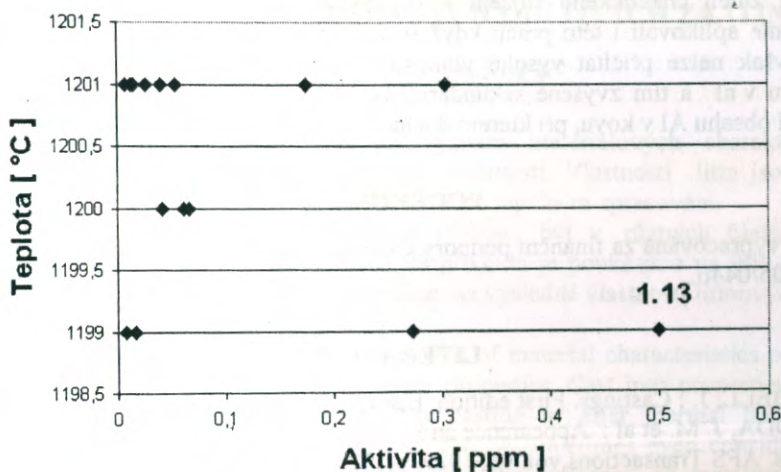
V jedné tavbě byly odlity 4 tyče ; 2 tyče ze společného vtokového kanálu : odlitek A a odlitek B.

Výsledky měření aktivity kyslíku v závislosti na vlhkosti jsou uvedeny pro 3 tavby v tab.II

Tab. II Výsledky měření aktivity kyslíku u odlitků tyčí při různých vlhkostech a různým způsobu plnění formy (1 – poloha senzoru dále od zářezu $\varepsilon = 0,6$, 2 – poloha senzoru blíže k zářezu $\varepsilon = 0,3$)

Odlitky 61	Vlhkost [%]	Aktivita O_2	Teplota [°C]
A1	3.5	0.0539 ppm	1201
A2	2	0.0153 ppm	1201
B1	5	0.008 ppm	1201
B2	3.5	0.0259 ppm	1201
Odlitky 62			
A1	2	0.175 ppm	1201
A2	3.5	0.304 ppm	1201
B1	3.5	0.012 ppm	1201
B2	5	0.153 ppm	1201
Odlitky 63			
A1	3.5	0.273 ppm	1199
A2	5	0.008 ppm	1199
B1	2	1.130 ppm	1199
B2	5	0.003 ppm	1136

Očekávali bychom, že jako u dříve uvedených výsledků LLG bude při nízké vlhkosti formovací směsi a_O nižší a naopak při vysoké vlhkosti bude a_O vyšší. Uvedené extrémní hodnoty však byly naměřeny u jedné tavby právě opačně. Výsledky všech měření jsou vyneseny na obr. 5 od 0,003 do 1,13 ppm.



Obr. 5 Výsledky měření aktivity kyslíku při teplotě $1200 \pm 1^\circ\text{C}$

I když vyloučíme z hodnocení extrémní hodnoty, nevychází žádná závislost mezi obsahem vlhkosti formy a aktivitou kyslíku. Nelze také vysledovat vztah mezi obsahem hliníku v litině a aktivitou kyslíku. U odlitků s vysokým obsahem hliníku 0,12 % se na odlitcích s vysokou četností objevily bodliny a to při nízkých i vysokých vlhkostech ($> 4\%$). U předchozích taveb s obsahem hliníku 0,02 a 0,05 % Al se tato vada vůbec nevyskytla. Potvrdily se tak známé závěry z literatury o vlivu Al na výskyt bodlin u litin. V literatuře se také uvádí, že výskyt bodlin významně ovlivňuje vlhkost formovací směsi a přítomnost uhlíkatých látek ve směsi. V této ani v předchozí práci [17] směs bez uhlíkatých látek a s vysokou vlhkostí, při podkritickém obsahu Al, nezpůsobila vznik bodlin. U odlitků s výskytem bodlin bohužel selhala měřicí aparatura a nepodařilo se v nich stanovit aktivitu kyslíku a problém bodlin ověřit i z tohoto hlediska.

Rozdíly v naměřených hodnotách aktivity kyslíku mohou být vyvolány tím, že sensory snímají EMS uvnitř odlitku a nikoliv v povrchových vrstvách, které jsou relevantní pro vznik reoxidačních procesů. Vliv vlhkosti formy se uprostřed stěny pravděpodobně neprojeví tak, jako např. podmínky modifikace in mould a vznik možných reakčních zplodin.

7 DISKUSE VÝSLEDKŮ A ZÁVĚR

V práci jsme pokračovali ve využití měření aktivity kyslíku v litinách pomocí senzorů, které umožňují, v relativně malém objemu kovu (např. stěně odlitku), kontinuální snímání EMS až do teploty solidu. Předložené výsledky ukazují, že využití měření aktivity kyslíku pro zkoumání změn způsobených reoxidačními procesy je však omezené. Jak upozornil Hummer, Hecht, Mampaey ve výše citovaných pracích má aktivita kyslíku vliv na morfologii grafitu. Tato skutečnost se projevila i v našich předchozích výzkumech.

Z taveb měřených v posledních dvou letech u litin [4] byl sestaven soubor statistických dat, ze kterého vyplynuly rozdíly mezi litinami s charakteristickou morfologií grafitu – lupínkového, ze kterého vyplynuly rozdíly mezi litinami s charakteristickou morfologií grafitu – lupínkového, červíkovitého a kuličkového. Tyto námi již publikované závěry potvrdily možnost využít měření aktivity kyslíku k řízení kvality litiny během metalurgického zpracování kovu při tavení a následné mimopecní úpravě (očkování, modifikace grafitu).

Měřením aktivity kyslíku lze lépe pozorovat vliv různých prvků na krystalizaci litin a morfologii grafitu, než hodnotit vliv technologických parametrů na sekundární oxidaci litin. V tom se shodujeme

s hodnotami naměřenými různými autory, které ostatně jsou velmi nízké. Z toho důvodu jsme v úvodu příspěvku shrnuli nejvýznamnější výsledky měření aktivit kyslíku jiných autorů. Reoxidační procesy navíc probíhají v povrchových vrstvách odlitků a tady je citlivost sond i jejich trvanlivost, zvláště u ocelí, velmi nízká. Musí se pak využít další metody, jako je např. sledování povrchových vad odlitků a změn chemického složení kovu. Nepřímou metodu sledování povrchových vad na odlitcích jsme aplikovali i této práci, když se u jedné tavby objevily na odlitcích tyčí bodliny. Jejich vznik však nelze přičítat vysoké vlhkosti formovací směsi nebo nízkému obsahu nosičů lesklého uhlíku v ní a tím zvýšené sekundární oxidaci kovu. Vady byly způsobeny překročením kritické oblasti obsahu Al v kovu, při kterém dochází ke vzniku vodíkových bodlin.

PODĚKOVÁNÍ

Práce byla vypracována za finanční podpory Grantové agentury České republiky v rámci projektu reg. číslo 106/05/0446.

LITERATURA

- [1] CAMPBELL, J. : Castings. First edition, Elsevier Ltd, Oxford 2000.
- [2] SVOBODA, J. M. et al : Appearance and Composition of Oxide Macoinclusions in Steel Castings. AFS Transactions, vol. 95, 1987, p.187-202.
- [3] HUMMER, R. : Oxygen Activity of Ductile Iron Melts. Advanced Materials Research, vols. 4-5, 1997, pp. 269-276.
- [4] ŠENBERGER, J.; ZÁDĚRA, A.; ELBEL, T. : Aktivita kyslíku v litinách během tavení a odlévání. Slévárenství, roč. 53, 2005, č. 7/8, s.308-312.
- [5] MAMPAEY, F.; BEGHYN, K. : Oxygen Activity in Cast Iron Measured in Induction Furnace at Variable Temperature. AFS Transactions, vol. 114, 2006, pp.637-656.
- [6] ELBEL, T.; ŠENBERGER, J. : Some aspects of reoxidation occurrence in ferrous castings. In Sb. XI Medzinarodova konferencia odlewnikow polskich, czeskich i slowackich. 2005, AGH, Krakow, s.41-50; ISBN 83-919232-3-1.
- [7] ELBEL, T.; SENBERGER, J.; ZADERA, A.; KOCIAN, L. : Study of the occurrence and suppression of metal reoxidation in ferrous castings . In Proceedings of the 67th World Foundry Congress, Harrogate, ICME 2006, paper 94/1-94/10.
- [8] HUMMER, R. et al. : Giesserei-Rundschau, 46, 1999, č.7/8, s. 8-16.
- [9] HECHT, M.; LOURY, J.-B. : Détermination et signification de l'activité de l'oxygène... , Fonderie-Fondeur d'aujourd'hui, N° 204, 2001, p.12-32
- [10] LEKALY, S.N. et al. : Thermochemistry and Kinetics of Iron Melt Treatment. In Proceedings of the 67th World Foundry Congress, Harrogate, ICME 2006, paper 68/1-68/10.
- [11] MAMPAEY, F. : Aluminium Cast Iron. AFS Transactions, vol. 113, 2005, paper 05-149.
- [12] MAMPAEY, F. et al. : The use of oxygen activity measurement to determine optimal properties of ductile iron during production. Presented at the WFO Technical Forum , Düsseldorf, June 2007 – in proceedings p. 69-73.
- [13] KONEČNÝ, L. et al. : Příspěvek k stanovení aktivity kyslíku u grafických litin a možnostech využití. Solidification of Metals and alloys, No 33/3, 1997-PAN Odzál Katovice, s. 28-34.
- [14] NOVÁ, I. et al. : Sledování aktivity kyslíku při výrobě litiny s kuličkovým grafitem. ARchive sof Foundry, vol.6, 2006, N. 18, PAN – Katovice, 86/18, s. 13-20.
- [15] CAMPBELL, J. : Castings. Second edition, Elsevier Ltd, Oxford 2005.
- [16] KOCIÁN, I.; ELBEL, T. : Využití měření aktivity kyslíku ve výzkumu reoxidačních procesů. Technological Engineering, vol. IV, 2007, No 1, p. 62-63.
- [17] ELBEL, T.; et al. : Vyzkum bodlin u litinových odlitku.. Technological Engineering, vol. IV, 2007, No 1, p. 2-3